



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BRIQUETADORA DE  
BIOMASAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES  
UNITARIAS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA/O QUÍMICA/O**

**AUTORES: SHARON DANIELA MORILLO MORÁN**

**JOHNNY ALBERTO REA CHÁVEZ**

**DIRECTORA: ING. MABEL MARIELA PARADA RIVERA**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Sharon Daniela Morillo Morán & Johnny Alberto Rea Chávez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Sharon Daniela Morillo Morán y Johnny Alberto Rea Chávez, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 27 de junio de 2023



---

**Sharon Daniela Morillo Morán**

**172387880-5**



---

**Johnny Alberto Rea Chávez**

**171966850-9**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA BRIQUETADORA DE BIOMASA PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**, realizado por los señores: **SHARON DANIELA MORILLO MORÁN** y **JOHNNY ALBERTO REA CHÁVEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Segundo Hugo Calderón, Msc <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2023-06-27
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera, Msc. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2023-06-27
Ing. Dario Fernando Guamán Lozada <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2023-06-27

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mi madre, Alicia quien me ha apoyado durante toda la carrera, mis hermanos Leidy y Ayrton, mi familia, mis amigos, y a todas las personas que han estado apoyándome incondicionalmente.

Sharon

Este trabajo va dedicado a mis padres Cesar y Betty que me han brindado un apoyo sincero e incondicional durante toda esta larga carrera, mis hermanos David, Dylan y Lexy, mi familia, mis amigos, y a todas las personas que han estado apoyándome de forma incondicional.

Johnny

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestros padres por ser apoyo incondicional día tras día, a nuestra familia y amigos. Agradecemos también a nuestra querida Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por habernos brindado la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería Química, a los docentes de la carrera por habernos enseñado y guiado con sus conocimientos a lo largo de este camino, a nuestra directora de tesis por habernos ayudado, guiado, y brindado su conocimiento para salir adelante con la tesis, a nuestro asesor por contribuir con su entendimiento en el tema y así lograr terminar el trabajo de integración curricular.

Sharon y Johnny

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Justificación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.1. Objetivo general.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>3</b>

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Antecedentes de investigación.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Referencias teóricas.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1. Energía sostenible.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.2. Biomasa.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.2.1. Clasificación de biomasa.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.2.2. Bagazo de cebada.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.2.3. Bagazo de caña.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.3. Briquetas y sus características.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.3.1. Tamaño y forma.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.3.2. Densidad.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.3.3. Humedad.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.3.4. Composición química.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.3.5. Poder calorífico.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.4. Aglutinantes.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.5. Tipos de aglutinantes.....</b>	<b>10</b>

2.2.5.1. <i>Aglutinantes vegetales</i> .....	10
2.2.5.2. <i>Aglutinantes animales</i> .....	11
2.2.6. <i>Aglutinantes sintéticos</i> .....	12
2.2.6.1. <i>Resinas sintéticas</i> .....	12
2.2.7. <i>Compactación</i> .....	13
2.2.8. <i>Máquinas briquetadoras</i> .....	13
2.2.9. <i>Tipos de máquinas briquetadoras según su escala de producción</i> .....	13
2.2.9.1. <i>Máquinas artesanales</i> .....	13
2.2.9.2. <i>Máquinas semi industriales</i> .....	14
2.2.9.3. <i>Máquinas industriales</i> .....	14
2.2.10. <i>Tipos de briquetadoras según sus cualidades</i> .....	15
2.2.10.1. <i>Prensa briquetadora mecánica</i> .....	15
2.2.10.2. <i>Briquetadora mecánica de tornillo</i> .....	16
2.2.10.3. <i>Briquetadora hidráulica</i> .....	16
2.2.10.4. <i>Briquetadora de rodillos</i> .....	17

### CAPÍTULO III

3. <b>MARCO METODOLOGICO</b> .....	18
3.1. <b>Localización del lugar</b> .....	18
3.2. <b>Caracterización de la biomasa</b> .....	19
3.2.1. <i>Características físicas</i> .....	19
3.2.1.1. <i>Densidad</i> .....	19
3.2.1.2. <i>Humedad</i> .....	20
3.2.2. <i>Características Químicas</i> .....	21
3.2.2.1. <i>Cenizas</i> .....	21
3.2.3. <i>Resultados caracterización de las biomásas</i> .....	23
3.3. <b>Selección de la briquetadora a construir</b> .....	24
3.3.1. <i>Selección de materiales de construcción</i> .....	26
3.3.1.1. <i>Acero inoxidable A304</i> .....	26
3.3.1.2. <i>Acero A36</i> .....	26
3.3.2. <i>Diseño de la briquetadora</i> .....	27
3.3.2.1. <i>Dimensionamiento del tornillo sin fin</i> .....	27
3.3.2.2. <i>Dimensionamiento de la potencia del motor</i> .....	32
3.3.2.3. <i>Dimensionamiento de la tolva</i> .....	34
3.3.2.4. <i>Dimensionamiento del sistema de transmisión de potencia</i> .....	35



3.3.3. <i>Forma definitiva de construcción</i> .....	37
3.3.4. <i>Proceso de producción de las briquetas</i> .....	38
3.3.4.1. <i>Recolección de la materia prima</i> .....	38
3.3.4.2. <i>Tratamiento de la materia prima</i> .....	38
3.3.4.3. <i>Molienda</i> .....	38
3.3.4.4. <i>Secado</i> .....	38
3.3.4.5. <i>Mezclado</i> .....	38
3.3.4.6. <i>Briquetado</i> .....	38
3.3.4.7. <i>Corte</i> .....	39
3.3.4.8. <i>Almacenamiento del producto final</i> .....	39
3.3.5. <i>Diagrama de flujo</i> .....	39

## CAPÍTULO IV

4. <b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	40
4.1. <b>Resultados de la caracterización de biomásas</b> .....	40
4.2. <b>Descripción de los elementos de la máquina briquetadora</b> .....	40
4.2.1. <i>Estructura de soporte</i> .....	41
4.2.2. <i>Cuerpo principal</i> .....	41
4.2.3. <i>Cilindro o camisa</i> .....	42
4.2.4. <i>Tornillo sin fin y eje</i> .....	42
4.2.5. <i>Polea</i> .....	42
4.2.6. <i>Tolva de alimentación</i> .....	43
4.2.7. <i>Sistema de extrusión</i> .....	43
4.2.8. <i>Motor</i> .....	44
4.2.9. <i>Bandeja de recolección</i> .....	44
4.3. <b>Balance de masa maquina briquetadora</b> .....	45
4.4. <b>Equipo final</b> .....	47
5. <b>CONCLUSIONES</b> .....	48
6. <b>RECOMENDACIONES</b> .....	50

## BIBLIOGRAFÍA

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Clasificación de biomasa.....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Tipos de aglutinantes.....	12
<b>Tabla 3-1:</b> Ubicación y coordenadas ESPOCH .....	18
<b>Tabla 3-2:</b> Procedimiento para la determinación de la densidad .....	19
<b>Tabla 3-3:</b> Datos experimentales densidad .....	19
<b>Tabla 3-4:</b> Determinación de la humedad usando una termobalanza.....	20
<b>Tabla 3-5:</b> Humedad de las biomosas .....	21
<b>Tabla 3-6:</b> Metodología análisis proximal de cenizas.....	21
<b>Tabla 3-7:</b> Datos experimentales cenizas.....	22
<b>Tabla 3-8:</b> Resultados caracterización de las biomosas .....	23
<b>Tabla 3-9:</b> Fabricación de briquetas.....	24
<b>Tabla 3-10:</b> Características de selección ponderada .....	25
<b>Tabla 3-11:</b> Características acero A304 .....	26
<b>Tabla 3-12:</b> Características acero A36.....	26
<b>Tabla 3-13:</b> Dimensiones de tolva .....	34
<b>Tabla 4-1:</b> Resultados de la caracterización de la biomasa.....	40
<b>Tabla 4-2:</b> Resultados balance de masa .....	46

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Bagazo de cebada.....	7
<b>Ilustración 2-2:</b>	Bagazo de caña .....	8
<b>Ilustración 2-3:</b>	Briquetadora artesanal .....	14
<b>Ilustración 2-4:</b>	Briquetadora semi industrial .....	14
<b>Ilustración 2-5:</b>	Briquetadora Industrial .....	15
<b>Ilustración 2-6:</b>	Prensa briquetadora mecánica.....	15
<b>Ilustración 2-7:</b>	Briquetadora de tornillo extrusor .....	16
<b>Ilustración 2-8:</b>	Briquetadora hidráulica.....	16
<b>Ilustración 2-9:</b>	Briquetadora de rodillos.....	17
<b>Ilustración 3-1:</b>	Ubicación laboratorio de operaciones unitarias .....	18
<b>Ilustración 3-2:</b>	Termobalanza RADWAG.....	21
<b>Ilustración 3-3:</b>	Geometría del tornillo sin fin.....	27
<b>Ilustración 3-4:</b>	Dimensionamiento del tornillo sin fin.....	30
<b>Ilustración 3-5:</b>	Parámetros de garganta de alimentación.....	35
<b>Ilustración 3-6:</b>	Dimensionamiento de tolva.....	36
<b>Ilustración 3-7:</b>	Dimensionamiento de bandas.....	37
<b>Ilustración 3-8:</b>	Diseño final y partes de la briquetadora.....	38
<b>Ilustración 3-9:</b>	Diagrama de flujo del proceso.....	40
<b>Ilustración 4-1:</b>	Esquema de la estructura de soporte.....	41
<b>Ilustración 4-2:</b>	Esquema del cuerpo principal.....	41
<b>Ilustración 4-3:</b>	Esquema del cilindro o camisa .....	42
<b>Ilustración 4-4:</b>	Esquema del tornillo y eje.....	42
<b>Ilustración 4-5:</b>	Esquema de polea .....	43
<b>Ilustración 4-6:</b>	Esquema de tolva.....	43
<b>Ilustración 4-7:</b>	Esquema del sistema.....	44
<b>Ilustración 4-8:</b>	Esquema del motor 5 Hp .....	44
<b>Ilustración 4-9:</b>	Bandeja de recolección .....	45
<b>Ilustración 4-10:</b>	Equipo entregado al laboratorio.....	47

## RESUMEN

La cantidad de desechos orgánicos producidos ya sea por industrias grandes o pequeñas no tienen un manejo adecuado, esto puede deberse al desconocimiento, así como el hecho de que el tratamiento de estos en algunos casos es costoso por lo que evitan hacerlo generando una problemática ambiental. El presente proyecto técnico tuvo como objetivo el diseño y construcción de una briquetadora de biomásas, para lo cual se hizo el análisis fisicoquímico de los desechos agroindustriales tomando en cuenta cinco características importantes de diseño: forma, tamaño, densidad, porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas. Estos resultados sirvieron para calcular la potencia del motor, cálculo de paso, longitud y diámetro de tornillo extrusor. Primero se eligió el tipo de briquetadora en función de las características de la biomasa, se decidió hacer una briquetadora de anillo extrusor ya que brinda un proceso continuo y sencillo, después se determinó el material de construcción, considerando que el resultado final no es para consumo alimenticio se usa acero A36 para la carcasa y demás partes de la máquina, para el tornillo extrusor debido a sus características mecánicas y fisicoquímicas el acero A304 es el principal componente. La máquina briquetadora consta de una tolva de alimentación que se dirige al anillo extrusor por el cual al final salen las briquetas ya comprimidas con un diámetro de 2,5 cm, para el corte se hace uso de una cuchilla externa para el largo deseado. Con los datos de caracterización y con pruebas de compactación del motor se calculó y verificó que la potencia requerida es de 5 Hp. Es así que las variables más importantes del funcionamiento del equipo son; tiempo, humedad, presión de compactación y temperatura.

**Palabras clave:** <BAGAZO DE CAÑA>, <BAGAZO DE CEBADA>, <BRIQUETADORA>, <TORNILLO EXTRUSOR>, <BRIQUETA>.

1484-DBRA-UPT-2023



## ABSTRACT

The amount of organic waste produced by both large and small industries is not adequately managed; this may be due to lack of knowledge, as well as the fact that in some cases the treatment of these wastes is costly, so they avoid carrying it out, generating an environmental problem. The objective of this technical project was the design and construction of a biomass briquetting machine, for which a physicochemical analysis of the agro-industrial waste was conducted, taking into account five important design characteristics: shape, size, density, percentage of humidity and percentage of ashes. These results were used to calculate the motor power, pitch calculation, length and diameter of the extruder screw. First the type of briquetting machine was chosen according to the characteristics of the biomass ; it was decided to make an extruder ring briquetting machine since it provides a continuous and simple process, then the construction material was determined, considering that the final result is not for food consumption ; A36 steel was used for the casing and other parts of the machine, for the extruder screw, due to its mechanical and physicochemical properties, A304 steel is the main component. The briquetting machine consists of a feeding hopper that is directed to the extruder ring through which at the end the briquettes come out already compressed with a diameter of 2 cm; the cutting is carried out with the use of an external blade for the desired length. With the characterization data and the engine compaction tests, it was calculated and verified that the required power is 5 Hp. Thus, the most important variables for the operation of the equipment are; time, humidity, compaction pressure and temperature.

**Key words:** <CANE BAGAZE>, <BARLEY BAGAZE>, <BRIQUETTING MACHINE>, <EXTRUDER SCREW>, <BRIQUETT>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

C.I.: 1103696132

## **INTRODUCCIÓN**

Los desechos agroindustriales y estudios sobre sus aplicaciones han ido incrementando a lo largo de los años, esto debido a los problemas ambientales a los que la humanidad se enfrenta. La cantidad de estos residuos reside en el nivel de producción de los mismos, siendo así que en Ecuador hay diez que se generan en mayor volumen que otros, estos son; la caña de azúcar, el banano, la palma aceitera, el maíz duro seco, el arroz, el plátano, la papa, el cacao, la naranja y el brócoli.

Ahora bien, si se tiene los residuos viene la pregunta qué hacer con estos, una opción viable es la elaboración de bloques sólidos combustibles, o, dicho de otra forma, briquetas. La producción de estas ayuda a reducir tanto el volumen de los residuos como consecuencia de la compactación que se usa para su elaboración también es una opción energética alternativa al carbón común, para el que se necesita talar árboles que pueden servir para producir aire limpio.

Como todo producto debe pasar por un proceso, para este proceso se ocupa maquinaria que nos permita obtener un derivado de alta calidad. Es aquí donde se presenta la necesidad de la construcción de un briquetadora que en base a nuestras necesidades y objetivos ayude con este propósito. Para construir esta máquina se necesita saber con qué residuos voy a trabajar, las características fisicoquímicas de los mismos y cuál es nuestro objetivo final de producción. Con estos datos se logra el diseño del equipo que después se lleva al proceso de construcción.

El grupo de investigación GIMA es uno de los propulsores de la producción de briquetas a base de diferentes tipos de biomásas, incluso de algunas que no constan dentro de las diez más producidas del país, con esto ayudan a los estudiantes e investigadores a buscar alternativas en pro del medio ambiente.

## **CAPÍTULO I**

### **1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

La cantidad de desechos orgánicos producidos ya sea por industrias grandes o pequeñas no tienen un manejo adecuado esto puede deberse al desconocimiento, así como el hecho de que el tratamiento de estos en algunos casos es costoso por lo que evitan hacerlo. Este tipo de desechos como; café, aserrín, cascarilla de arroz, entre otros generan una problemática ambiental, sin embargo, estos son útiles para elaborar briquetas que sirven como bloques sólidos combustibles siendo una alternativa energética.

Es así como la fabricación de briquetas ayuda a reducir estas problemáticas, estos residuos orgánicos o forestales al ser compactados y ser incinerados generan calor debido a sus buenas propiedades térmicas las mismas que pueden ser usados como una alternativa al carbón vegetal. Para poder elaborar estas briquetas es necesario tener la maquinaria adecuada con la que se pueda obtener este producto con las mejores características posibles, es así como se observa la necesidad de una máquina briquetadora en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que nos permita obtener estas briquetas.

En conclusión, este tipo de maquinaria es imprescindible debido al impacto investigativo que está teniendo hoy en día la reutilización de residuos agroindustriales para elaborar briquetas como sustituto al carbón vegetal, al ser más económico y amigable con el ambiente.

#### **1.2 Justificación**

La razón por la cual se presenta este proyecto es brindar a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo un equipo que permita obtener briquetas de alta calidad y sirvan como una alternativa energética, además proporcionará a los estudiantes de Ingeniería Química un desarrollo óptimo y práctico, mediante el control y la manipulación de este equipo.

Se propone un diseño ingenieril que controlará en su proceso parámetros de presión, temperatura y tiempo de compactado que beneficie la producción de fuentes de energía alternativa y que estén acorde a los mecanismos autómatas que permitan en su proceso una buena productividad a bajo costo.

Este equipo además servirá para ayudar a diferentes investigadores y proyectos, uno de ellos es el PROYECTO DE INVESTIGACIÓN (analizar materiales y nanomateriales para aplicaciones energéticas y medio ambientales), formado por el Grupo de Investigación de Materiales Avanzados (GIMA) de la ESPOCH permitiéndoles avanzar con las investigaciones de formulación de briquetas a base de desechos agroindustriales.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Diseñar y construir una briquetadora de biomasa para el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Caracterizar las biomásas para su proceso de manufactura mediante análisis fisicoquímicos.
- Identificar las variables de proceso de manufactura de las briquetas.
- Dimensionar el equipo propuesto mediante cálculos de ingeniería y revisión literaria.
- Construir y automatizar la máquina briquetadora mediante el diseño y cálculos de ingeniería.
- Validar el funcionamiento del equipo para la elaboración de briquetas a base de diferentes tipos de biomasa.
- Realizar la documentación respectiva que contenga el manejo adecuado de la briquetadora y guía de prácticas de laboratorio.



## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 2.1 Antecedentes de investigación

Diversos estudios han analizado qué intervenciones son efectivas para impulsar una transición energética sustentable. A partir de la década de 1970, dichos estudios se centraron en minimizar la demanda de energía fomentando comportamiento de conservación de energía en casa e inversiones en eficiencia energética, para evadir la extenuación de la energía fósil fuentes. A partir de la década de 1990, los estudios se centraron en la reducción de CO<sub>2</sub> emisiones, mientras tanto que al principio varios estudios se centraron en impulsar comportamiento de ahorro de energía, en la actualidad más estudios se centraron en impulsar la adopción de tecnologías y maneras de ahorro de energía para motivar a los domicilios a equilibrar su demanda de energía para el abastecimiento disponible de energía (renovable). Es importante primero, discutir las tácticas estructurales que apuntan a mejorar la capacidad y la motivación de los individuos para participar en la energía sustentable, al hacer tales actividades subjetivamente más atractivas por medio de incentivos. En segundo lugar, discutir las tácticas psicológicas que apuntan a incrementar la capacidad y la motivación de los individuos para participar en el ahorro de energía (Holden et al., 2021: p. 8).

Las briquetas de biomasa son biocombustibles que se fabrican gracias a desperdicios agrícolas y reemplazan a los combustibles fósiles como el petróleo o el carbón, y tienen la posibilidad de utilizar para calentar calderas en plantas de producción energética. La tecnología de producción por extrusión de briquetas es el proceso de extrusión de residuos de tornillo o residuos de madera finamente triturada a alta presión. Existe un enorme alcance para minimizar el desperdicio de fuentes de energía convencionales a un grado destacable por medio del desarrollo y la propagación de tecnología de briquetas no convencionales, o sea, máquina de briquetas, planta de briquetas, planta de briquetas de biomasa para la producción de briquetas de residuos agrícolas para llevar a cabo con los requisitos de energía térmica (Sharma et al., 2015: p. 44).

La biomasa sólida como fuente de energía tiene un elevado efecto en las sociedades de bajos ingresos como en la provincia de Limpopo de Sudáfrica, gracias a su simple disponibilidad, bajo precio y sostenibilidad. Además, las briquetas de biomasa como fuente de energía son neutras en carbono y poseen un impacto mínimo sobre el medio ambiente. Si se crea desde residuos de biomasa sueltos hechos anualmente por ocupaciones agrícolas y forestales, se puede suavizar la

deforestación. Por consiguiente, existe la necesidad de alentar a las sociedades fuera de la red a minimizar la dependencia de la madera en rollo como fuente de energía y aprovechar la biomasa suelta disponible libremente. Se piensan diversos procedimientos de construcción de briquetas de biomasa suelta y se utilizan a la producción de biomasa suelta recolectada (Shuma y Madyira., 2017: p. 99).

## 2.2 Referencias teóricas

### 2.2.1 *Energía sostenible*

Es una energía que se puede utilizar sin comprometer a las generaciones futuras en satisfacer sus necesidades. Es una energía cuya fuente no se agota con su uso (o se agota a una ratio insignificante), se consideran energías sostenibles todas las energías renovables (eólica, solar, hidráulica, geotérmica, olamotriz o la biomasa) (Shuma y Madyira., 2017: p. 99).

### 2.2.2 *Biomasa*

La biomasa es la fracción biodegradable de los productos, subproductos y residuos provenientes de la agricultura, incluidas las sustancias animales y vegetales, de la silvicultura y de las industrias de ambas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y urbanos, sólidos, líquidos y pastosos (Seoanez, 2013, pp. 96–97).

#### 2.2.2.1 *Clasificación de biomasa*

En la presente tabla, se encuentran las biomazas vegetales y animales residuales de procedencia de actividades humanas, adicionando cultivos energéticos como fuente de energía cada vez más utilizada.

**Tabla 2-1:** Clasificación de biomasa

Residuos Ganaderos	Explotaciones Ganaderas	Animales muertos Estiércol Lisier Heces Orina	
	Industrias Ganaderas	Sangre Carne Cueros Huesos	

		Cuernos Pezuñas Lana Pelos Piel Grasa	
	Industrias del pescado	Alimentos no consumidos Individuos muertos Heces Lodos Organismos Incrustados	
		Residuos Animales	Cabezas Espinas Piel Colas Vísceras
Residuos industriales agrícolas	Pulpas Lodos Vinazas Lías Residuos orgánicos diversos Cachaza	Orujo Alpechines Huesos Restos de fruta, semilla pulpa, pieles	
Residuos sólidos urbanos orgánicos	Materia orgánica de restos domésticos Papel Cartón		
Residuos líquidos y pastosos urbanos orgánicos	Materia orgánica de excretas sólidas y líquidas Lodos de depuradora		
Cultivos energéticos	Agrícolas	Oleaginosas Especies C4 Cereales	
	Forestales	Cardos Salicáceas Eucaliptus Especies C4	
Residuos de actividades forestales	Residuos de operaciones silvícolas	Podas Limpias Claras Restos de cortas	
	Residuos de hojas, ramillas, raíces, tocones Residuos de corta de pies maderables		
Residuos de industrias forestales	Residuos sólidos	Ramas Cortezas Virutas	

	Serrines
	Lodos
Madera	
Microorganismos	Básicamente cultivos bacterianos para procesos de fermentación.

**Fuente:** (Seoanez, 2013, pp. 96–97)

**Realizado por:** Rea Chávez, Johnny., 2023

Uno de los sectores económicos principales del Ecuador es la agricultura, en el 2018, 23000 millones de kg de cultivos agrícolas fueron registrados, los diez principales son: La caña de azúcar, el banano, la palma aceitera, el maíz duro seco, el arroz, el plátano, la papa, el cacao, la naranja y el brócoli, con un total del 59,46% de la producción global (Riera et al., 2018: p. 228).

#### 2.2.2.2 . *Bagazo de cebada*

El bagazo de cebada es uno de los residuos agroindustriales principales en la producción de cerveza generado en la etapa de filtración y separación del mosto, donde el grano se transforma en un remanente. A nivel mundial la producción de cerveza es de 113,654.000 millones de kilogramos de cerveza, por lo que los índices de remates son altos. En Ecuador se produce aproximadamente 120.000 toneladas anuales de bagazo de cebada, este residuo se usa esencialmente como alimento crudo y de bajo costo para bovinos y porcinos (Jurado, 2017, pp. 3–6).



**Ilustración 2-1:** Bagazo de cebada

**Fuente:** Tamashiro, 2021

#### 2.2.2.3 *Bagazo de caña*

La industria azucarera en el Ecuador es uno de los principales productores de este desecho y representa aproximadamente entre el 25 y 40 % del total de materia procesada dependiendo del contenido de fibra de la caña y la eficiencia en la extracción del jugo, generándose alrededor de 1300000 toneladas al año, este se usa en procesos de cogeneración energética en los ingenios azucareros (Pernalet et al., 2008: pp. 3–4).



**Ilustración 2-2:** Bagazo de caña

**Fuente:** Thamizhparithi, 2017

### **2.2.3 Briqueetas y sus características**

Las briquetas son un combustible (de origen lignocelulósico en la mayoría de los casos) compuesto por la compactación de biomasa (lignocelulósica en la mayoría de los casos). No obstante, en ocasiones, las briquetas permanecen formadas por la compactación de cualquier tipo de biomasa residual (Marcos, 2012, p. 57).

Son biocombustibles sólidos densificados que se obtiene mediante la compactación de residuos agroindustriales y/o biomasa mediante un molde con o sin la ayuda de algún tipo de aglutinante, mejorando así su densidad y su poder calorífico, además las briquetas deben tener características que se relacionan con la efectividad del proceso de compactación, además deben soportar la carga de transporte, almacenamiento y quema, resistir las caídas y apilamiento (Marcos, 2012, p. 57).

#### **2.2.3.1 Tamaño y forma**

La manera de las briquetas es bastante variada. Si embargo, abundan las briquetas de manera cilíndrica. Con diámetros entre los 2 y 20 centímetros y longitudes entre los 15 y 50 centímetros. Otras maneras habituales son las de prisma cuadrado o prisma hexagonal hueco. En otras ocasiones las briquetas poseen forma de ladrillo (Marcos, 2012, p. 57).

#### **2.2.3.2 Densidad**

La primordial característica de las briquetas ante las astillas es que son más densas que éstas con lo cual permite el transporte, manipulación y almacenaje. El problema es que resultan más caras que las astillas puesto que necesitan un proceso industrial de construcción.

Esta es la variable que resulta más relevante al aprender y equiparar las briquetas con otros combustibles forestales. El propósito final del proceso de briquetado es continuamente el mismo: Obtener un producto final de más grande densidad que los productos iniciales. Al tener mayor densidad este producto se transportará ocupando menos volumen que las leñas y astillas y va a ser más fácil de manipular (Marcos, 2012, p. 58).

Los componentes que influyen en la densidad de la briketa son de 2 tipos:

- a) La materia prima empleada. Cuanto mayor sea la densidad de la materia prima mayor va a ser la densidad del producto final.
- b) La presión ejercida por la prensa en el proceso de construcción y el adecuado diseño y manipulación de esta. Las presiones de compactación son cambiantes, dependiendo de la maquinaria empleada (Marcos, 2012, p. 58).

#### *2.2.3.3 Humedad*

La humedad de la briketa está en funcionalidad de la forma en que se suministre al producto. Como en el proceso de prensado que sufre la materia prima hasta transformarse en briketa se acostumbran a usar partículas secas (humedad menor del 12% base húmeda) y además en el mismo se seca todavía más la partícula, finalmente la humedad de la briketa resulta ser de una 8-10% a la salida de la prensa. Mucho dependerá de cómo sea guardado posteriormente del proceso de briquetado en el que se lo puede situar en plástico para que no absorba agua en adelante (Marcos, 2012, p. 59).

#### *2.2.3.4 Composición química*

Es fundamental aprender la estructura química elemental de briquetas porque ésta condiciona su poder calorífico. La estructura química de briquetas dependerá del material usado en su constitución (Marcos, 2012, p. 59).

Si se emplean aditivos habrá de tenerse presente la estructura química de los mismos. Lo ideal es conocer los porcentajes (en peso) de madera, corteza y aditivos empleados, así como la humedad a la que se manipulan dichos productos. Conocidos dichos porcentajes puede evaluarse de manera aproximada la estructura química de las briquetas (Marcos, 2012, p. 59).

#### *2.2.3.5 Poder calorífico*

Se entiende por poder calorífico la cantidad de energía desprendida por un kg de combustible al quemarse. Altos poderes caloríficos, indican buenos combustibles y bajos poderes caloríficos señalan combustibles más discretos. El poder calorífico depende fundamentalmente de la composición química del combustible (Marcos, 2012, p. 59).

#### **2.2.4 Aglutinantes**

Un aglutinante es una sustancia capaz de unir partículas de varias sustancias o materiales entre sí, debido que genera fuerzas entre las moléculas permitiendo esta unión. Gracias a esta función se ha visto incluido varios aglutinantes en industrias como la construcción, pinturas, carpintería y la elaboración de briquetas a base de biomasa (Analuisa y Hernández., 2018: pp. 16–17).

Si bien un aglutinante es muy útil hay que considerar algunas características que de cumplir para su implementación en la fabricación de briquetas orgánicas (Analuisa y Hernández., 2018: pp. 16–17).

- De sencilla preparación
- Fácil obtención
- Precio accesible
- No producir gases contaminantes
- Simplicidad en la mezcla
- Buenas características de cohesión
- Presentar un esfuerzo al aplastamiento considerable.

Su importancia radica en la reducción de grandes presiones que se usarían al compactar granulometrías por vía húmeda. Hay que calcular la cantidad de aglutinante necesaria ya que un exceso de este el granulo sería muy rígido y reduciría la biodisponibilidad, por otro lado, si se usa muy poco entonces al compactarse el granulo se fragmentaría (Calero y Vásconez., 2012: pp. 23–30).

#### **2.2.5 Tipos de aglutinantes**

##### **2.2.5.1 Aglutinantes vegetales**

###### **2.2.5.1.1 Aceites**

Utilizados en las pinturas al óleo, estos pueden ser aceite de linaza que producen una película con buena elasticidad; aceite de nuez que fue bastante usado en el pasado, sin embargo, en la

actualidad es difícil encontrarlo en forma comercial; aceite de adormidera, este es un aceite secante con neos tendencia a amarillear, sin embargo, no seca rápido y con el tiempo tiende a craquear en capas gruesas; aceite de cártamo que al hervir forma un gel (Calero y Vázquez., 2012: pp. 23–30).

#### 2.2.5.1.2 Gomas

Son solubles en agua y al secar genera solidos incristalizables, quebradizos y transparentes. Su uso puede variar entre ser aglutinante, adhesivo, espesante, fijador, estabilizador o clarificador (Calero y Vázquez., 2012: pp. 23–30).

#### 2.2.5.1.3 Resinas

Estas son insolubles en agua y tienen un aspecto aceitoso y pegajoso. Hay resinas medicinales y aromáticas conocidas como bálsamos, los cuales, contienen aceites volátiles, ácidos aromáticos y alcoholes; a menudo este tipo de sustancias se destilan obteniendo, solventes y esencias. Las resinas de terebinto, pinos y abetos reciben el nombre de trementinas y cuando están fosilizadas reciben el nombre de ámbar (Calero y Vázquez., 2012: pp. 23–30).

#### 2.2.5.1.4 Almidones

Son derivados de los cereales como el maíz y arroz, de tubérculos y raíces como papa y mandioca. Sus características razón de ser buenos aglutinantes son las siguientes: adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizantes de espumas, agente antienvjecimiento, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizarte y espesante (Calero y Vázquez., 2012: pp. 23–30).

#### 2.2.5.2 *Aglutinantes animales*

##### 2.2.5.2.1 Colas

Son elaborados al hervir residuos de colágeno de animales. Las colas de mejor calidad son aquellas fabricadas a partir de huesos y piel dando como resultado una cola fuerte que al secar es flexible. Si se usan tendones y cartílagos forma una emulsión semisólida más conocida como gelatina. Estas emulsiones se usan para mezclar materiales ligeros y porosos como la madera, papel, entre otros (Calero y Vázquez., 2012: pp. 23–30).



#### 2.2.5.2.2 Ceras

Son sustancias insolubles en agua, sólidas y blandas a temperatura ambiente, bastante resistentes a la acción de hongos, bacterias e insectos. Por lo general forma parte de pinturas permitiéndoles flexibilidad y humectación (Calero y Vásconez., 2012: pp. 23–30).

### 2.2.6 *Aglutinantes sintéticos*

#### 2.2.6.1 *Resinas sintéticas*

- Resinas vinílicas
- Resinas de poliestireno
- Resinas de policarbonato
- Resinas a base de cianoacrilato
- Resinas de poliuretano
- Resinas epóxicas
- Elastómeros
- Resinas compuestas
- Resinas acrílicas

**Tabla 2-2:**Tipos de aglutinantes

<b>POLÍMEROS</b>	<b>SEGÚN SU ORIGEN</b>	<b>SEGÚN SU COMBUSTION</b>
<b>Naturales</b> Almidón de maíz, gelatina, goma acacia, goma de tragacanto y ácido algínico.	<b>Orgánicos</b> Alquitrán, estiércol animal, manteca, aguas servidas, residuales o barro, gelatina, papel, restos y residuos de pescado, algas y almidones.	<b>Combustibles</b> Albuminatos, alcoholes, almidones, alquitranes, azúcares, breas, caseína, cola, etc.
<b>Sintéticos</b> PVP, metilcelulosa, etilcelulosa, alcohol polivinílico, etc.	<b>Inorgánicos</b> Limo, arcilla, barro, cemento, cal, etc.	No combustibles Borato de sodio, cal y cal hidratada, cemento, cloruro de magnesio, escayola, silicato de sodio, sílice, yeso, etc.
Azúcares Glucosa, sucrosa y sorbitlo.		

**Fuente:** (Analuisa y Hernández., 2018: pp. 16–17).

**Realizado por:** Morillo Moran, Sharon, 2023

De los aglutinantes ya mencionados varios de ellos ya se han usado para elaborar briquetas, como son:

- Almidón (dextrina amarilla C<sub>6</sub> H<sub>12</sub> O<sub>5</sub>, 5% de humedad, pH = 3, solubilidad del 95%, 1.88 de fluidez de bórax y 6 azúcares reductores)
- Almidón de maíz no refinado y granulado.
- Almidón de yuca.
- Almidón en forma de pasta (se agrega a un 15% en agua a 70°C)
- Fécula de mandioca
- Melaza de caña de azúcar
- Resina sintética
- Emulsión asfáltica
- Alquitrán vegetal
- Engrudo y cola

El almidón es por preferencia el aglutinante más común y efectivo.

### ***2.2.7 Compactación***

La compactación implica una reducción de los espacios vacíos en una muestra ligados a la pérdida del volumen del aire. Es uno de los métodos que ayudan a mejorar la condición de una muestra al ser eficiente y de aplicación universal (Aburto y Rodríguez., 2012: pp. 2–3).

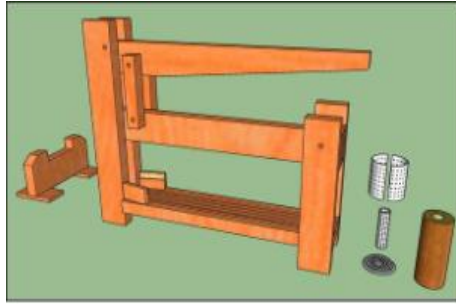
### ***2.2.8 Máquinas briquetadoras***

Las briquetadoras son maquinas que sirven para la conversión de gránulos o materiales previamente triturados que, sometidos a altas presiones dentro de un molde, compactando los materiales en cuerpos semirrígidos (Silva, 2015, pp. 2–3).

### ***2.2.9 Tipos de máquinas briquetadoras según su escala de producción***

#### ***2.2.9.1 Máquinas artesanales***

Esta máquina no necesita elementos electrónicos para el proceso, su producción es de baja cantidad y su elaboración se lo hace con materiales reciclables. Este tipo de mecanismo no es capaz de generar grandes presiones por lo que la biomasa se mezcla con un aglutinante y se lo deja secar y se retira los restos de humedad (Almache, 2020, p. 15).



**Ilustración 2-3:** Briquetadora artesanal

Fuente: Cruz y Vargas., 2020a: p. 30

### 2.2.9.2 Máquinas semi industriales

Su estructura difiere de las maquinas artesanales, ya que incorpora elementos mecánicos, hidráulicos, electrónicos y neumáticos en su estructura. La presión de estas máquinas está en un rango de 5 a 100 MPa, es decir, que tiene mayor presión de compactación mejorando el producto final y reduciendo costos de producción (Almache, 2020, p. 16).



**Ilustración 2-4:** Briquetadora semi industrial

Fuente: Zhao, 2023

### 2.2.9.3 Máquinas industriales

“Al ser industrial se tiene un mayor volumen de producción, además la temperatura se añade como variable principal para la producción de briquetas, las presiones están en un rango de 100 y 200 MPa y una temperatura aproximada de 165 °C” (Almache, 2020, p. 16).



**Ilustración 2-5:** Briquetadora industrial

Fuente: Direct Industry, 2023

## **2.2.10 Tipos de briquetadoras según sus cualidades**

### **2.2.10.1 Prensa briquetadora mecánica**

Este tipo de briquetadora empuja el material dentro de su cámara de compresión. En consecuencia, a la fricción que se genera por la compresión la temperatura interna aumenta, es por esto que se deja enfriar a las briquetas naturalmente, es decir, salen de la maquina y se enfrían y solidifican. Los rangos de producción son de 800 y 5000 kg/h, el material de alimentación debe tener una humedad menor al 8% para garantizar la integridad de la briqueta (Venegas, 2017, p. 13).



**Ilustración 2-6:** Prensa briquetadora mecánica

Fuente: Indiamart, 2023

### 2.2.10.2 Briquetadora mecánica de tornillo

Este tipo de máquina funciona con sistema de tornillo extrusor, a medida que el material avanza el material es comprimido. Debido al tornillo extrusor tienen la característica de poseer un agujero en el centro. Con este tipo de máquina se tiene un proceso continuo y el largo de las briquetas es determinado por la ruptura por deflexión (Venegas, 2017, p. 13).



**Ilustración 2-7:** Briquetadora de tornillo extrusor

Fuente: Lu, 2023

### 2.2.10.3 Briquetadora hidráulica

Son máquinas que como su nombre lo indica están compuestas por sistemas hidráulicos y/o neumáticos, son recomendadas para una producción en masa, generalmente son de tipo automático, la diferencia entre las briquetadoras hidráulicas y neumáticas radica en la fuerza de compresión que ejercen este tipo de sistemas, se debe tener en consideración el tipo de biomasa a emplear para la selección del sistema adecuado (Silva, 2015, pp. 10-12).



**Ilustración 2-8:** Briquetadora hidráulica

Fuente: Interempresas, 2023

#### 2.2.10.4 Briquetadora de rodillos

La compactación se genera por medio de dos rodillos grandes que tienen una serie de orificios en su superficie, es aquí donde la biomasa ingresa y luego de compactado queda de esta forma. Con la ayuda de extrusores se retira la briqueta obtenida.



**Ilustración 2-9:** Briquetadora de rodillos

**Fuente:** Cruz y Vargas., 2020b: p. 32

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLOGICO

#### 3.1 Localización del lugar

La briquetadora de biomasa se ubicará en la ciudad de Riobamba en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo específicamente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias ( $1^{\circ}39'22.1''S$   $78^{\circ}40'40.1''W$ ) para que sea utilizada por todos los estudiantes de la facultad, orientada específicamente para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química.

**Tabla 3-1:** Ubicación y coordenadas ESPOCH

Parámetros	Descripción
Provincia	Chimborazo
Cantón	Riobamba
Latitud	$1^{\circ} 39' 32,3''$ sur
Coordenadas	$78^{\circ} 40' 20''$
Clima	$17^{\circ} C$

Elaborado por: Morillo Morán, Sharon., 2023



**Ilustración 3-1:** Ubicación laboratorio de operaciones unitarias

Realizado por: Morillo, S., 2023

## 3.2 Caracterización de la biomasa

La biomasa que se decidió recolectar para el dimensionamiento de la briquetadora es bagazo de caña de azúcar y el bagazo de cebada de la industria cervecera, de tal forma, que a continuación se detallan las pruebas de laboratorio que se realizó con la finalidad de poder caracterizarlas desde un punto de vista físico y químico.

### 3.2.1 Características físicas

#### 3.2.1.1 Densidad

Es una magnitud intensiva que expresa la relación entre la masa y el volumen de una sustancia líquida o de un objeto sólido, esta propiedad física es muy importante para el dimensionamiento de la briquetadora, aún más para la potencia del motor; ya que se encuentran ligados directamente la densidad de la materia prima junto con la potencia del motor (Martínez, 2018, p. 25).

**Tabla 3-2:** Procedimiento para la determinación de la densidad

Actividad	Procedimiento	Ecuación
Determinación de la densidad	Lavar los materiales; probeta, vaso de precipitación, vidrio reloj. Aforar entre los 40 y 70 ml de agua la probeta. Pesar la muestra de biomasa en seco. Agregar la muestra en la probeta con agua. Observar el desplazamiento del agua en la probeta. Anotar las observaciones y calcular la densidad.	<b>Ecuación 3-1.</b> Densidad $\rho = \frac{masa}{volumen}$

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

#### 3.2.1.1.1 Datos experimentales de densidad

**Tabla 3-3:** Datos experimentales densidad

Biomasa		
Bagazo de caña	Masa	1,2183 g
	Volumen inicial	70 ml
	Volumen final	72 ml
	Masa	2,0069 g



<b>Bagazo de cebada</b>	Volumen inicial	40 ml
	Volumen final	42 ml

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

### 3.2.1.1.2 Cálculos

- Para bagazo de caña

$$\rho = \frac{\textit{masa}}{\textit{volumen final} - \textit{volumen inicial}}$$

$$\rho = \frac{1,2183g}{(72 - 70)ml}$$

$$\rho = 0,60915 \textit{ g/ml}$$

- Para bagazo de cebada

$$\rho = \frac{\textit{masa}}{\textit{volumen final} - \textit{volumen inicial}}$$

$$\rho = \frac{2,0069g}{(42 - 40)ml}$$

$$\rho = 1,00345 \textit{ g/ml}$$

### 3.2.1.2 Humedad

La humedad es una característica, para la cual se tomó muestras de la materia prima y se colocó en una termobalanza de la marca RADWAG para la determinación de humedad de la biomasa.

**Tabla 3-4:** Determinación de la humedad usando una termobalanza

<b>Actividad</b>	<b>Procedimiento</b>
Determinación de la humedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesarse las muestras de biomasa en una balanza analítica.</li> <li>• Colocar la muestra en la bandeja y posteriormente en el soporte de la bandeja.</li> <li>• Ingresar el soporte con la bandeja en la termobalanza y cerrar.</li> <li>• Esperar a que el resultado se estabilice.</li> </ul>

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023



**Ilustración 3-2:** Termobalanza radwag

Fuente: A&D COMPANY, 2023

### 3.2.1.2.1 Datos humedad de las biomásas

**Tabla 3-5:** Humedad de las biomásas

Humedad	
Bagazo de caña	4,947%
Bagazo de cebada	4,606%

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

## 3.2.2 Características Químicas

### 3.2.2.1 Cenizas

Las cenizas establecen los minerales presentes en la composición química de la biomasa después de la etapa de combustión.

**Tabla 3-6:** Metodología análisis proximal de cenizas

Actividad	Procedimiento	Ecuación
Análisis proximal de ceniza	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lavar los crisoles</li> <li>Tarar los crisoles dentro de la estufa durante 3 horas a 110 C.</li> <li>Colocar los materiales en el desecador hasta que se enfríen.</li> <li>Pesar las muestras de las biomásas entre 2,5 a 5 gr por muestra.</li> </ul>	Ecuación 3-2. Porcentaje de ceniza. $\%C = \frac{(m_1 - m)}{(m_2 - m)} \times 100\%$ <p><b>Donde:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>%C:</b> Porcentaje de ceniza.</li> <li><b>m:</b> masa del crisol tarado.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incinerar las muestras con la ayuda de un reverbero.</li> <li>• Cuando se ha quemado la muestra se lleva a la mufla a 550 C durante 24 horas.</li> <li>• Pesar las muestras.</li> <li>• Calcular el porcentaje de ceniza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>m<sub>1</sub></b>: masa del crisol después de la incineración.</li> <li>• <b>m<sub>2</sub></b>: masa del crisol con la muestra antes de la incineración.</li> </ul>
--	---	---

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

### 3.2.2.1.1 Datos experimentales para porcentaje de ceniza

**Tabla 3-7:** Datos experimentales cenizas

Biomasa		m		m2	m1
Bagazo de cebada	Muestra 1	35,2749	5,4075	40,6824	35,3895
	Muestra 2	34,0677	5,1345	39,2022	34,1891
Bagazo de caña	Muestra 1	77,8198	2,5499	80,3697	77,8458
	Muestra 2	70,2834	2,5052	72,7886	70,3089

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

### 3.2.2.1.2 Cálculos análisis proximal del porcentaje de cenizas

- Para el bagazo de cebada

Muestra 1

$$\%C = \frac{(m_1 - m)}{(m_2 - m)} \times 100\%$$

$$\%C = \frac{(35,3895 - 35,2749)}{(40,6824 - 35,2749)} \times 100\%$$

$$\%C_1 = 2,1193$$

Muestra 2

$$\%C = \frac{(m_1 - m)}{(m_2 - m)} \times 100\%$$

$$\%C = \frac{(34,1891 - 34,0677)}{(39,2022 - 34,0677)} \times 100\%$$

$$\%C_2 = 2,3644$$

Promedio

$$\%C = \frac{\%C_1 + \%C_2}{2}$$

$$\%C = \frac{2,1193 + 2,3644}{2}$$

$$\%C = 2,2418$$

- Para el bagazo de caña

Muestra 1

$$\%C = \frac{(m_1 - m)}{(m_2 - m)} \times 100\%$$

$$\%C = \frac{(77,8458 - 77,8198)}{(80,3697 - 77,8198)} \times 100\%$$

$$\%C_1 = 1,0196$$

Muestra 2

$$\%C = \frac{(m_1 - m)}{(m_2 - m)} \times 100\%$$

$$\%C = \frac{(70,3089 - 70,2834)}{(72,7886 - 70,2834)} \times 100\%$$

$$\%C_2 = 1,0179$$

Promedio

$$\%C = \frac{\%C_1 + \%C_2}{2}$$

$$\%C = \frac{1,0196 + 1,0179}{2}$$

$$\%C = 1,0188$$

### 3.2.3 Resultados caracterización de las biomásas

**Tabla 3-8:** Resultados caracterización de las biomásas





Característica	Unidad	Biomasa	Valor promedio	Método
----------------	--------	---------	----------------	--------

<b>Densidad</b>	g/cm <sup>3</sup>	Bagazo de Cebada	1,0345	INEN 1162:2013
		Bagazo de Caña	0,60915	
<b>Humedad</b>	% Peso	Bagazo de Cebada	4,606	INEN 1160:1983 Método Eléctrico Termo Balanza RADWAG
		Bagazo de Caña	4.947	
<b>Cenizas</b>	% Peso	Bagazo de Cebada	2,2418	ASTM D1102-84
		Bagazo de Caña	1,0188	

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

### 3.3 Selección de la briquetadora a construir

**Tabla 3-9:** Fabricación de briquetas

<b>Fabricación de briquetas</b>					
<b>Tipo de briquetadora</b>	<b>Tamaño material</b>	<b>Forma</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Capacidad de producción</b>	<b>Potencia requerida</b>
De tornillo extrusor	3-5 mm		D= 20-80 mm L= ajustable	80-250 kg/h	11-15 KW
De pistón mecánico	Hasta 25 mm		D= 50-100 mm L= 15-40 cm	300-2200 kg/h	15/75 KW
Hidráulicas	Hasta 10 mm		D= 70-90 mm L= ajustable	100-200 kg/h	7,5 -9 KW
De rodillos	Menor a 2 mm		L= 60-70 mm	1-5 T7h	5,5-132 KW

Fuente: Cruz y Vargas., 2020c: p. 30

Realizado por: Morillo Morán, Sharon., 2023

Es necesario establecer distintas características que permitirán elegir de mejor manera la briquetadora, ya que dentro de ellas se ponderarán los mismo y así designando al que mejor se adapte para nuestro fin. Las ponderaciones estarán designadas de esta forma:

- 1) Mal desempeño
- 2) Desempeño regular
- 3) Buen desempeño

**Tabla 3-10:** Características de selección ponderada

CARACTERÍSTICAS	TIPO DE MÁQUINA		
	HIDRÁULICA	PRENSA MECÁNICA	TORNILLO
Consumo de energía	3	1	1
Capacidad de producción	1	3	2
Continuidad del proceso	1	2	3
Inversión inicial	3	1	3
Variación de parámetros	3	1	1
Aumento de temperatura	3	1	3
Mantenibilidad	3	2	2
Grado de automatización	3	2	2
Seguridad Operacional	3	2	2
Vida útil máquina	2	3	2
Total	25	18	21

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

De acuerdo con el producto final que se quiere lograr la briquetadora de tipo tornillo extrusor es la que más se adapta, siendo que con esta logramos briquetas con un diámetro de entre 2 a 8cm. Es importante destacar que este tipo de briquetadora nos permite tener un proceso continuo con una mediana capacidad de producción y no se requiere una inversión inicial de tan alto costo, permite tener una vida útil de mediano plazo de acuerdo con el mantenimiento que se le brinde a la misma.

La máquina briquetadora de tornillo extrusor o tornillo sin fin nos permite obtener una briqueta con un diámetro final de 20 mm con alimentación de 100 kg/h y una potencia requerida de entre los 5 Hp, otro factor a considerar y uno de los más importantes es la granulometría que va ligada a la densidad del material y es necesaria para una buena alimentación y trabajo del tornillo, en este caso se trabaja con bagazo de cebada y caña que después de pasar por un pretratamiento esta tendrá un diámetro de partícula entre 3-5 mm. La longitud no tiene una medida establecida, pero si se necesita realizar un corte para obtener cada briqueta.

### 3.3.1 Selección de materiales de construcción

#### 3.3.1.1 Acero inoxidable A304

Es un acero inoxidable de tipo austenítico y no endurecible. Son de muy buena resistencia a la oxidación y corrosión. No es magnético, aunque puede suceder si el material es sometido a procesos de maquinado o deformación en frío, tiene buenas características de forjabilidad, soldabilidad y conductividad térmica menor que los aceros de carbono (Serviacero Especiales, 2020).

Su aplicación es amplia en la construcción de equipos o partes de esto que estarán sometidos a ambientes oxidantes, corrosivos y de alta temperatura en industrias diversas como la química, petroquímica, alimenticia, biotecnológica, medica, farmacéutica y textil (Serviacero Especiales, 2020).

**Tabla 3-11:** Características acero A304

Composición química		Propiedades mecánicas	
%C	0.08 máx.	Resistencia a la tensión (MPa)	515
%Mn	2.00 máx.		
%P	0.045 máx.	Limite elástico (MPa)	205
%S	0.030 máx.		
%Si	1.00 máx.	Elongación (%)	30
%Cr	18.0 – 20.0	Reducción de área (%)	40
%Ni	8.0 – 10.5		

Fuente: Serviacero Especiales, 2020

Elaborado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

#### 3.3.1.2 Acero A36

Conocido como hierro negro, de calidad estructural para el uso de estructuras remachadas, atornilladas o soldadas. Se rige bajo la norma ASTM A36.

**Tabla 3-12:** Características acero A36

Propiedades mecánicas	Esfuerzo a la influencia mínimo	250 MPa
	Esfuerzo a la tensión	400 – 500 MPa
	Elongación mínima	50 mm
	Módulo de elasticidad	200 GPa
Propiedades físicas	Densidad	7,85 g/cm <sup>3</sup>

<b>Propiedades químicas</b>	%C	0.25 – 0.29
	%Mn	0.60 – 1.20
	%Si	0.15 – 0.40
	%P	0.04 máx.
	%S	0.05 máx.

Elaborado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

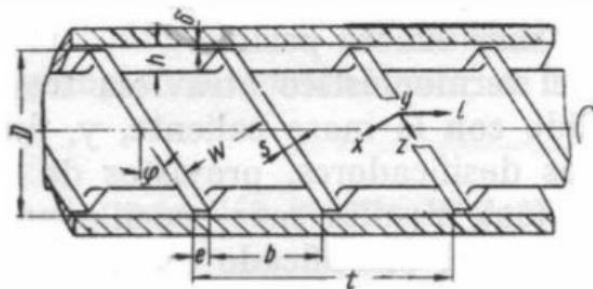
### 3.3.2 Diseño de la briquetadora

Después de haber evaluado los tipos de briquetadoras y cual se ajusta más al fin que se necesita se seleccionó a la briquetadora de tornillo sin fin. Todos los cálculos que se utilizaron para el diseño están basados en el libro de *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Diseño de Elementos de Maquinas de Mott, Transformación de plásticos de Sagvorony* y algunos manuales de diseño que estandarizan los componentes que se encuentran en el mercado.

La puesta en marcha de la máquina briquetadora inicia colocando la materia prima en la tolva de alimentación, así, el tornillo lleva el material desde la alimentación hasta el área de compactación, ubicada al fin del tornillo y en la cual se reduce la sección que permite la compresión del material y la expulsión de este uniformemente para así obtener la briqueta y la cual se la cortará y secará para su posterior uso.

#### 3.3.2.1 Dimensionamiento del tornillo sin fin

El tornillo sin fin es un cilindro largo que contiene en su alrededor un filete helicoidal. El tornillo es la parte esencial de la máquina, ya que de este depende el transporte, la mezcla y la compactación para obtener nuestro producto. Dentro del diseño se deben tomar en cuenta distintas características como la longitud (L), diámetro (D), ángulo de filete ( $\phi$ ) y paso de rosca (t).



**Ilustración 3-3:** Geometría del tornillo sin fin

Fuente: Piñeros y Acosta., 2019: p. 50



- Diámetro, D

Para poder dar el diámetro del tornillo, se toma como base el tamaño promedio de los gránulos de cebada y caña, por lo que el diámetro que se toma de base para todo el cálculo es de  $D=0.04\text{m}$ .

- Relación longitud/diámetro, L/D

Las relaciones convencionales para briquetadoras de tornillo sin fin varían desde 5/1 hasta 15/1. Para este diseño se seleccionó una relación de 6, entonces, la longitud del tornillo  $L=0.24\text{ m}$ .

- Paso de rosca, t

Es la distancia por la cual avanza el material por cada vuelta que da el tornillo, el pasó será el que indique la capacidad productiva de la briquetadora. De acuerdo con Mott, 2006 el paso está comprendido entre 0.5 y 1 veces la medida del diámetro del tornillo. Por lo tanto, se utilizó una relación de 0.5 veces el diámetro del tornillo,  $t=0.02\text{ m}$ .

- Ángulo de filete,  $\varphi$

Al darse el movimiento desde la alimentación hasta la compresión depende del ángulo, mientras sea mayor, la capacidad de transporte se reduce. Para calcular el ángulo se utiliza la ecuación presente.

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{3t}{\pi(D - h)}$$

Donde:

D = Diámetro del tornillo [m]

h = Profundidad del canal [m]

t = Paso de la rosca [m]

$\varphi$  = Ángulo de la hélice [°]

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{3(0.02)}{\pi(0.04 - 0.004)}$$

$$\varphi = 31,05^\circ$$

- Holgura, H

Es la distancia que hay entre el diámetro exterior del tornillo y el diámetro interior del cilindro. Se debe buscar la holgura mínima para que no exista rozamiento entre las hélices y las paredes internas del tubo, por lo tanto, la relación debe ser:

$$H = 0.025 * D$$
$$H = 0.025 * 0.04$$
$$H = 1 * 10^{-3} m = 1 \text{ mm}$$

- Profundidad de sección de alimentación,  $h$

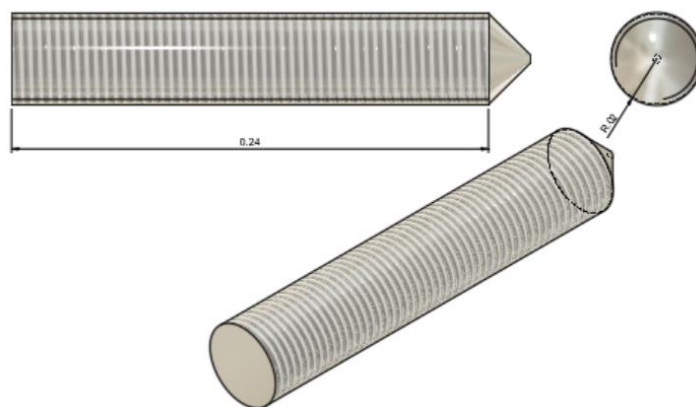
La profundidad del tornillo en esta zona es constante y la longitud de esta zona es tal que hay una alimentación tal que no es ni muy poca ni en exceso. La profundidad recomendada varía entre  $(0,12-0,16) D$

$$h = 0.12 * D$$
$$h = 0.12 * 0.04$$
$$h = 4.8 * 10^{-3} m = 4.8 \text{ mm}$$

- Espesor de filete,  $e$

Es el espesor que tiene la hélice, para dimensionar se utiliza la siguiente expresión:

$$e = 0.12 * D$$
$$e = 0.12 * 0.04$$
$$e = 0.0048 m = 4.8 \text{ mm}$$



**Ilustración 3-4:** Dimensionamiento del tornillo sin fin

**Realizado por:** Rea, J.; Morillo, S., 2023

- Capacidad productiva del tornillo

La producción expresada como flujo volumétrico (Q), es el resultado de tres tipos de flujos. El flujo de arrastre ( $\alpha$ ), que es el mayor de los tres producido por el arrastre del material cuando el tornillo gira. El flujo de presión ( $\beta$ ), es aquel que se opone al flujo del sistema, es decir es el flujo de retorno. El flujo de filtración ( $\gamma$ ), es aquel que reduce la producción debido a las pérdidas del material que se produce en la holgura ente el cilindro y el tornillo. Dicho flujo volumétrico se puede calcular de la siguiente manera:

$$Q = \left( \frac{\alpha * K}{K + \gamma + \beta} \right) n$$

Donde:  $\alpha$ = flujo de arrastre [m3]

$\beta$ = flujo de presión [m3]

$\gamma$ = flujo de filtración [m3]

K= forma geométrica de la boquilla [m3]

n= revoluciones por minuto [rpm]

Cada uno de los factores se debe calcular aparte y a continuación se brindan las ecuaciones correspondientes a cada uno de ellos.

Flujo de arrastre:

$$\alpha = \frac{\pi * m * D * h * \left( \frac{t}{m} - e \right) * \cos (\varphi^2)}{2}$$

Donde:

D = diámetro del tornillo [m]

h = profundidad del canal [m]

m = número de canales del filete

t = paso de la rosca [m]

e = espesor del filete [m]

$\varphi$  = ángulo de la hélice [°]

$$\alpha = \frac{\pi * 1 * 0.04 * 0.0048 * \left( \frac{0.02}{1} - 0.0048 \right) * \cos (31.05^2)}{2}$$

$$\alpha = 3.87 * 10^{-6} m^3 = 3.87 \text{ cm}^3$$

Flujo de presión

$$\beta = \frac{m * h^3 * \left(\frac{t}{m} - e\right) * \sin(\varphi) * \cos(\varphi)}{12 * L}$$

Donde:

L= longitud del tornillo [m]

$$\beta = \frac{1 * 0.0048^3 * \left(\frac{0.02}{1} - 0.0048\right) * \sin(31.05) * \cos(31.05)}{12 * 0.24}$$
$$\beta = 2.42 * 10^{-10} m^3$$

Flujo de pérdidas

$$\gamma = \frac{\pi^2 * D^2 * H^3 * \tan(\varphi)}{10 * e * L}$$
$$\gamma = \frac{\pi^2 * 0.04^2 * 0.001^3 * \tan(31.05)}{10 * 0.0048 * 0.24}$$
$$\gamma = 7.27 * 10^{-10} m^3$$

Constante total de la cabeza o coeficiente de forma geométrica de la boquilla.

Para una boquilla de canal cónico presente en la zona de compresión de la máquina, se tiene la siguiente expresión:

$$K = \frac{3 * \pi * d1^3 * d2^3}{128 * l * (d1^2 + d1 * d2 + d2^2)}$$

Donde:

d1= diámetro ingreso del material [m]

d2= diámetro salida del material [m]

l= longitud de la boquilla [m]

$$K = \frac{3 * \pi * 0.04^3 * 0.04^3}{128 * 0.04 * (0.04^2 + 0.04 * 0.04 + 0.04^2)}$$
$$K = 1.57 * 10^{-6} m^3$$

La velocidad de giro de las máquinas briquetadoras es progresivamente mayor entre más diámetro posea la briqueta final deseada. Para briquetadoras con diámetros finales menores a 2 pulgadas, se recomienda una velocidad de giro  $n = 220\text{rpm}$  (Cruz y Vargas., 2020: p. 30)

$$Q = \left( \frac{3.87 * 10^{-6} * 1.57 * 10^{-6}}{1.57 * 10^{-6} + 2.42 * 10^{-10} + 7.27 * 10^{-10}} \right) 220$$

$$Q = 8.509 * 10^{-4} \frac{m^3}{min} = 0.051 \frac{m^3}{h}$$

Gracias a la densidad que tenemos  $\rho=1034.5 \text{ Kg/m}^3$

$$Q = 0.051 \frac{m^3}{h} * 1034.5 \frac{Kg}{m^3}$$

$$Q = 52.76 \frac{Kg}{h}$$

### 3.3.2.2 Dimensionamiento de la potencia del motor

El motor es el factor delegado que proporciona la energía primaria para hacer girar el tornillo sinfín y luego mover, mezclar y compactar el material para proporcionar las briquetas.

Hay una variedad de motores como B. Motores de CC con convertidores de frecuencia o motores de CA que mantienen un par y una rotación constantes. La potencia del motor se transmite al sinfín a través de correas, piñones con cadenas, motorreductores, etc.

Para calcular la potencia se utiliza la siguiente expresión:

$$P_o = P * Q$$

Donde:

Po= potencia eléctrica [KW]

P= presión de la máquina [MPa]

Q= flujo volumétrico [m<sup>3</sup>/s]

Para las briquetadoras existe un rango de presiones de briquetado que va desde los 60MPa hasta los 100MPa. Para el cálculo de la potencia de diseño se utilizará una presión promedio de P=80MPa (Cruz y Vargas., 2020: p. 30)

$$P_o = (80 * 10^3) * (1.4167 * 10^{-5})$$

$$P_o = 1.13 \text{ kW}$$

Es necesario tomar en cuenta las pérdidas que se pueden tener por instalaciones eléctricas y arranque del motor, por lo cual se debe corregir esta potencia eléctrica.

Perdidas por instalaciones eléctricas

Es aquella perdida de potencia originada entre la potencia que llega de la línea de origen de corriente y la que entrega al final. Para determinar estas pérdidas, se utiliza la siguiente expresión:

$$Z_e = 0.015 * P_o$$

$$Z_e = 0.015 * 1.13$$

$$Z_e = 0.017 \text{ kW}$$

Perdidas en motores y generadores

Son aquellas perdidas que se generan por un mal pre encendido o entre los componentes del motor seleccionado y que no llegue a entregar totalmente la potencia que indica. Para determinar estas pérdidas, se utiliza la siguiente expresión:

$$Z_m = 0.05 * P_o$$

$$Z_m = 0.05 * 1.13$$

$$Z_m = 0.0565 \text{ kW}$$

La potencia corregida es la suma de potencia eléctrica con los valores de potencia de corrección por pérdidas.

$$P_c = P_o + Z_m + Z_e$$

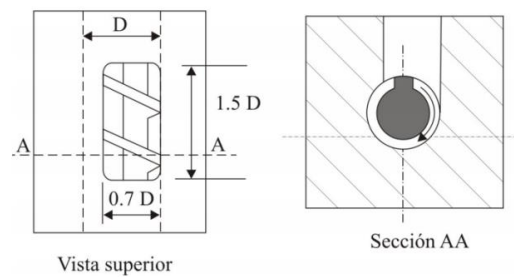
$$P_c = 1.13 + 0.017 + 0.0565$$

$$P_c = 1.20 \text{ kW}$$

La potencia corregida es de 1.2 kW o 1.6 Hp, por lo tanto, se selecciona un motor de 2 Hp, pero ya con la puesta en marcha se realizará pruebas para observar un buen funcionamiento de la máquina y obtener el producto final.

### 3.3.2.3 Dimensionamiento de la tolva

Este elemento es en el que se realiza la alimentación y canalización de materiales agregados al proceso. Tienen paredes inclinadas que permiten el deslizamiento del material. La tolva está ubicada en la entrada de alimento del tornillo sin fin y se llena a medida que el material comienza a compactarse. Tal diseño de la tolva no tiene especificaciones propias. Por lo tanto, optó por utilizar las sugerencias del libro de Mott sobre ingestas teóricas de alimento según el diámetro del tubo. La garganta tiene aproximadamente 1,5 veces el diámetro del cilindro y aproximadamente 0,7 veces el ancho, como se muestra en la figura.



**Ilustración 3-5:** Parámetros de garganta de alimentación

Fuente: Solórzano y Toral., 2022: p. 19

Las dimensiones seleccionadas de base superior de la tolva y su altura se realizaron de manera de tener una proporción adecuada entre todas las partes de la briquetadora y se mantuviera una armonía de tamaños. De ser necesario, se puede incrementar el tamaño de esta para que la persona no tenga que estar llenando de material tan continuamente. A continuación, se presentan las dimensiones seleccionadas:

**Tabla 3-13:** Dimensiones de tolva

Área base menor	A1	0.00205	m <sup>2</sup>
Lado a1	a1	0.066	m
Lado b1	b1	0.031	m
Área base mayor	A2	0.0104	m <sup>2</sup>
Lado a2	a2	0.13	m
Lado b2	b2	0.08	m
Altura	h	0.12	m

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

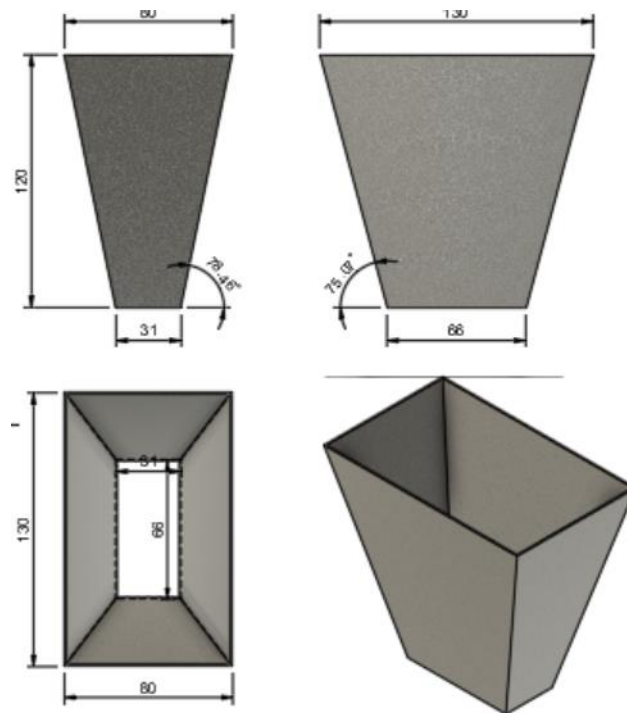
De acuerdo con las dimensiones establecidas, se puede calcular el volumen de la tolva con la siguiente expresión:

$$V = \frac{h}{3}(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1A_2})$$

$$V = \frac{0.12}{3}(0.00205 + 0.0104 + \sqrt{0.00205 * 0.0104})$$

$$V = 6.83 * 10^{-4}m^3 = 0.683 L$$

Se tiene un volumen de 0.683 L, si a este volumen se le multiplica por la densidad se determina que la capacidad de almacenar es de 0.71 kg de masa.



**Ilustración 3-6:** Dimensionamiento de tolva

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

#### 3.3.2.4 Dimensionamiento del sistema de transmisión de potencia

Este sistema tiene la función de transferir la potencia del motor hacia el eje de transmisión y brindar la potencia con una velocidad menor. Se debe transmitir 2 Hp o mayor, por lo tanto, una potencia de 1750 a 3500 rpm. Se busca un sistema de bajo costo y que su mantenimiento sea sencillo y accesible. La mejor opción es la utilización de poleas y fajas de transmisión en V.

- Potencia de diseño



La potencia de diseño se obtiene de la multiplicación de la potencia seleccionada por un factor de servicio, esta potencia es considerada en la selección del número y tipo de faja a usar. La potencia de diseño debe ser mayor que la potencia seleccionada, esto avalará que el sistema tenga tolerancia a sus capacidades y no permitirá un deterioro rápido. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_D = P_f * f_s$$

Donde:

$P_D$  = potencia de diseño [HP]

$P_f$  = potencia final seleccionada [HP]

$f_s$  = factor de servicio

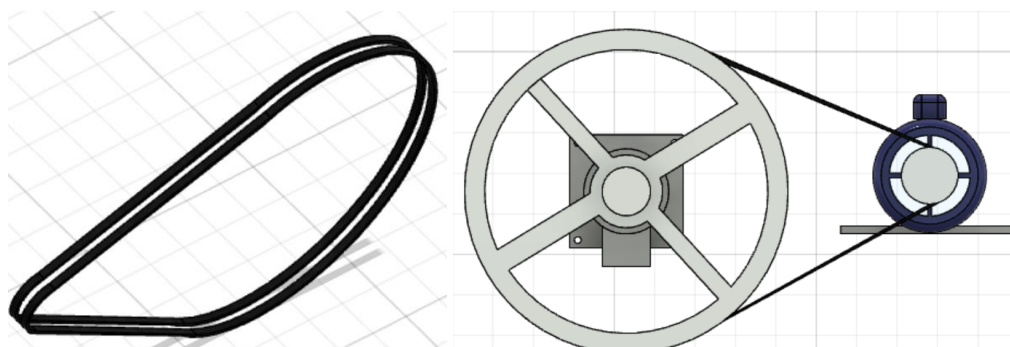
El factor de servicio se halla según el tipo de motor a ser utilizado, la máquina que utilice el sistema de transmisión y las horas de servicio por día. El factor de servicio es de 1.15, esto lo reemplazaremos y se halla:

$$P_D = 2 * 1.15$$

$$P_D = 2.3 \text{ Hp}$$

Selección de banda

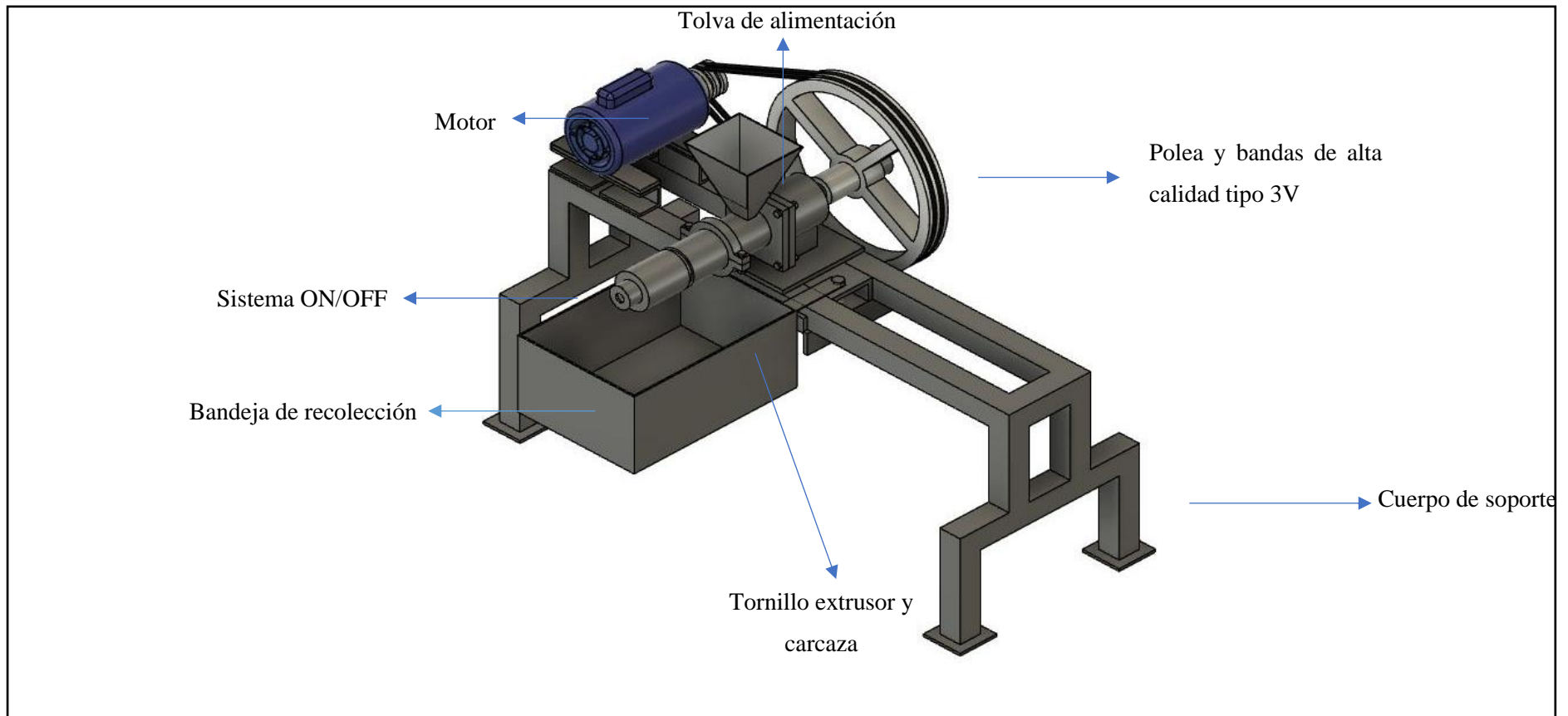
Teniendo la potencia de diseño y la velocidad de giro del motor, se selecciona una banda de alta capacidad tipo 3V, con una polea de doble ranura, así obteniendo un mejor desempeño.



**Ilustración 3-7:** Dimensionamiento de bandas

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

### 3.3.3 Forma definitiva de construcción



**Ilustración 3-8:** Diseño final y partes de la briquetadora

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

### **3.3.4 Proceso de producción de las briquetas**

#### **3.3.4.1 Recolección de la materia prima**

Para esto se debe buscar un lugar que produzca los desechos a usarse, en este caso cáscara de papa, tusa de maíz, bagazo de caña y cáscara de piña. Una vez se tenga la materia prima se debe hacer los pretratamientos respectivos para que esta se transforme en una briketa con un buen poder calorífico.

#### **3.3.4.2 Tratamiento de la materia prima**

Debido que las materias primas recolectadas están húmedas, se debe hacer un secado de las mismas, para lo cual se hace uso de un horno de bandejas o en su defecto se deja al sol y después se termina de secar en el horno.

#### **3.3.4.3 Molienda**

En esta etapa se verifica que las biomásas a usarse cumplan con la granulometría adecuada, es decir, que tengan un diámetro de 1 mm. Esto se hace utilizando molinos trituradores ya sean de martillo o de rodillo (Salcedo, 2021, pp. 49–50).

#### **3.3.4.4 Secado**

Este proceso se lo puede hacer de una manera simple, como lo es al ambiente en una zona cálida y seca. Es aquí donde se controla la humedad de la biomasa para el briquetado, esta debe estar entre valores del 8 al 15% (Salcedo, 2021, pp. 49–50).

#### **3.3.4.5 Mezclado**

Dado que se va a usar dos tipos de biomásas para formar un tipo específico de briketa se necesita una mezcla homogénea de estos; el primer caso es de la cascara de papa con la tusa de maíz, el segundo caso es el bagazo de caña con la cascara de piña.

#### **3.3.4.6 Briquetado**

Esta es la etapa fundamental para la obtención de las briquetas, es aquí donde se comprime la biomasa uniéndose entre sí y al final del tornillo extrusor salen las briquetas.

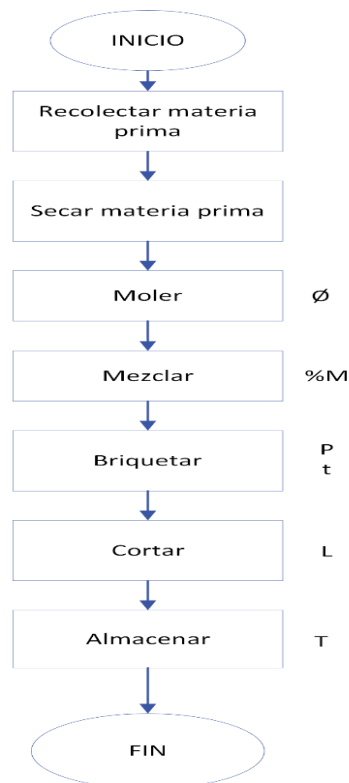
#### 3.3.4.7 Corte

A la salida de la maquina briquetadora se tiene la biomasa comprimida en forma de briquetas que sale de forma horizontal a través de un tubo con un diámetro de 5 cm, sin embargo, el largo es algo que se hace con ayuda de una hélice que gira cada cierto tiempo haciendo un corte transversal obteniéndose así el producto final con un largo y diámetro específico.

#### 3.3.4.8 Almacenamiento del producto final

Después de haberse cortado las briquetas están serán depositadas en un recipiente de donde el operario podrá transportar las briquetas a un lugar seco para su almacenamiento, ya sea en fundas, cajas o sacos.

#### 3.3.5 Diagrama de flujo



**Ilustración 3-9.** Diagrama de flujo del proceso

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Resultados de la caracterización de biomasas

Adelante, se detalla los resultados obtenidos de la caracterización de las biomasas en la siguiente tabla.

**Tabla 4-1:** Resultados de la caracterización de la biomasa

COMPONENTE	UNIDAD	MATERIAL	VALOR PROMEDIO	MÉTODO
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	Cebada	0,6490	INEN 1162:2013
		Caña	0,60915	
Humedad	% Peso	Cebada	4,606	INEN 1160:1983 Método Eléctrico Termo Balanza RADWAG
		Caña	4.947	
Cenizas	% Peso	Cebada	2,2418	ASTM D1102-84
		Caña	1,0188	

Elaborado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

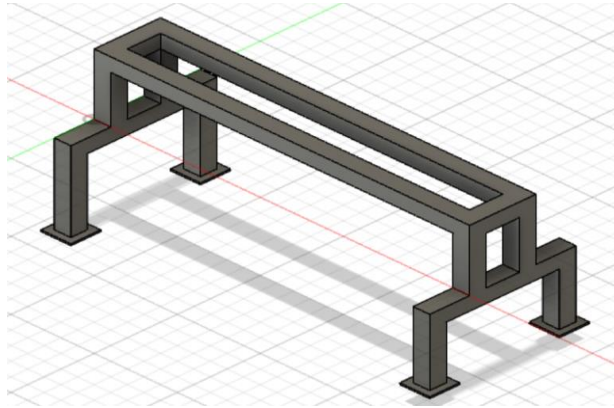
De acuerdo con la tabla anterior se dice que la densidad del bagazo de cebada es mayor en comparación con la densidad del bagazo de caña, en cuanto a la humedad después de haber pasado un proceso de secado nos da un resultado de 4 – 5% que está dentro del rango máximo permitido de 10% en la norma INEN 1160:1983, el porcentaje de cenizas del bagazo de caña es menor con respecto al del bagazo de cebada lo que indica que el poder calorífico del bagazo de cebada es menor que el bagazo de caña.

#### 4.2 Descripción de los elementos de la máquina briquetadora

La trituradora está constituida de diferentes elementos y materiales como laminas y cilindros de acero A36, acero inoxidable A304, cumpliendo con las normativas respectivas de construcción, dentro del equipo se puede evidenciar los elementos que a continuación se los detalla.

#### 4.2.1 Estructura de soporte

Es la base que soporta todo el peso del equipo, fabricada en acero laminado A36, el cual está formado por aleaciones de acero al carbono estructural utilizadas para la construcción de bienes y piezas de uso general en los sectores de la construcción y la ingeniería, además de implementarse para la industria y la construcción.

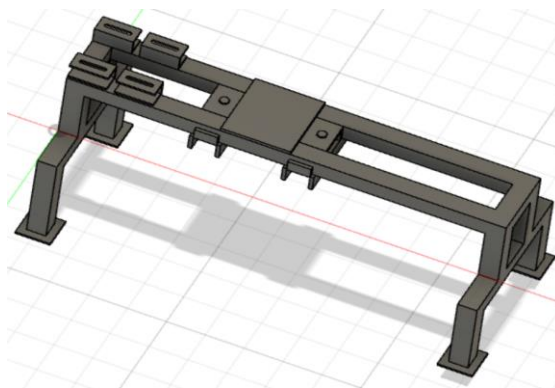


**Ilustración 4-1:** Esquema de la estructura de soporte

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

#### 4.2.2 Cuerpo principal

El cuerpo de soporte es aquel donde va ubicado el motor eléctrico, el eje excéntrico con la polea y el cilindro con el tornillo.

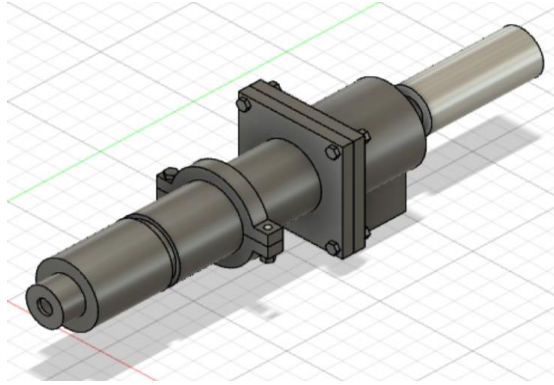


**Ilustración 4-2:** Esquema del cuerpo principal

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

#### 4.2.3 *Cilindro o camisa*

Este cilindro es en el que se encuentra el eje del tornillo, la sección de alimentación, transporte y compresión para obtener como producto final las briquetas.

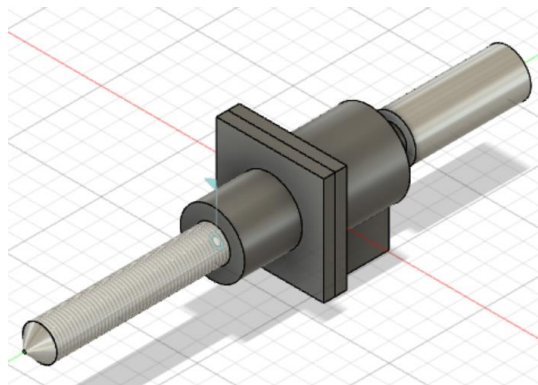


**Ilustración 4-3:** Esquema del cilindro o camisa

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

#### 4.2.4 *Tornillo sin fin y eje*

El tornillo está construido de acero inoxidable A304, debido a su alta durabilidad y abrasión frente al transporte y compresión del material. Este es la parte esencial de la maquina y el cual recibe la potencia para ejercer la presión sobre la materia prima.

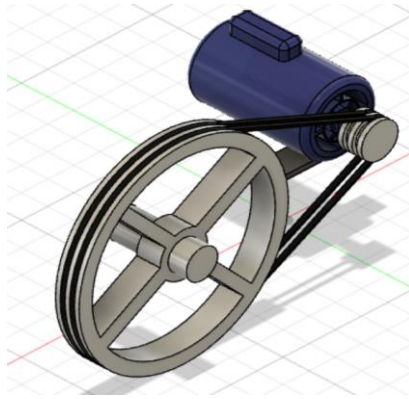


**Ilustración 4-4:** Esquema del tornillo y eje

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

#### 4.2.5 *Polea*

Es el encargado de transmitir la fuerza del motor eléctrico y proporcionar inercia al sistema de briquetado.

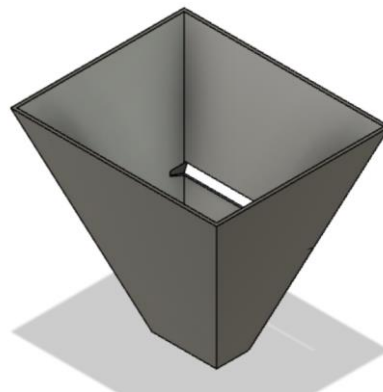


**Ilustración 4-5:** Esquema de polea

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

#### **4.2.6** *Tolva de alimentación*

Este elemento tiene como finalidad la alimentación de la materia prima que va a ser objeto de compresión para obtener nuestro producto final.



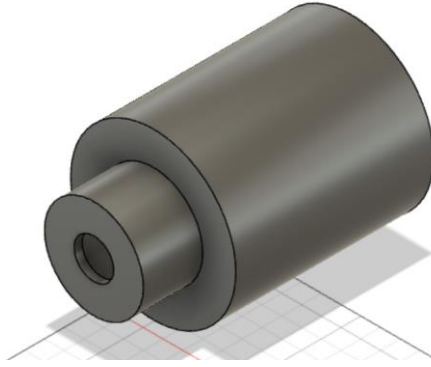
**Ilustración 4-6:** Esquema de tolva de alimentación

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

#### **4.2.7** *Sistema de extrusión*

Es el elemento encargado de la extrusión que da la forma cilíndrica de salida de la briqueta y que permite realizar la recolección del material comprimido.



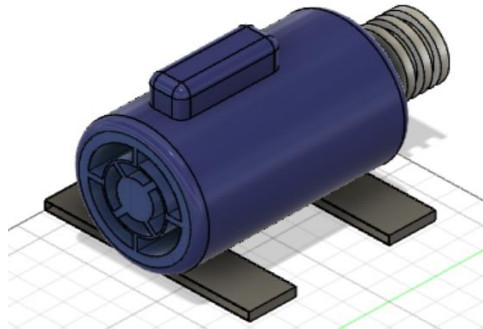


**Ilustración 4-7:** Esquema del sistema de extrusión

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

#### 4.2.8 *Motor*

Es el elemento encargado de brindar la fuerza necesaria para poner en marcha el sistema de alimentación, transporte y compresión, debido a que este es el encargado de transferir la energía eléctrica en energía mecánica, produce el movimiento en la transmisión.

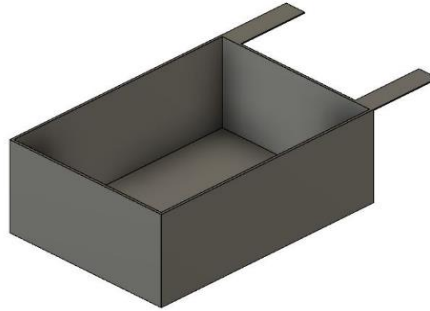


**Ilustración 4-8:** Esquema del motor 5 Hp

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

#### 4.2.9 *Bandeja de recolección*

Este elemento es el encargado de recolectar las briquetas a la salida del tornillo extrusor después de ser cortadas a la medida deseada

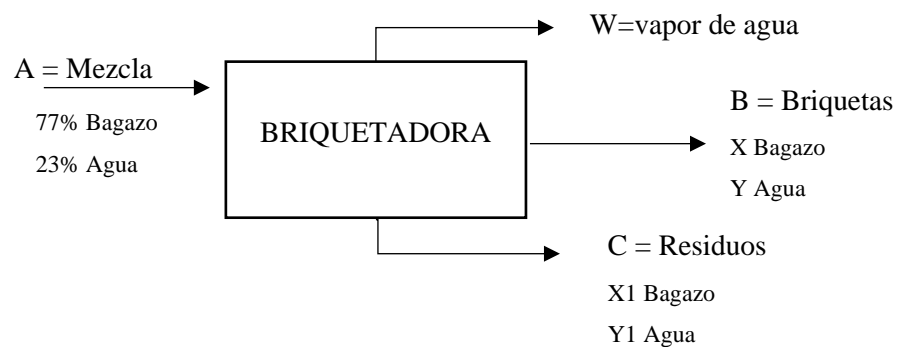


**Ilustración 4-9:** Bandeja de recolección

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

### 4.3 Balance de masa maquina briquetadora

El balance de masa se realizó en base a datos prácticos, utilizando una alimentación de 0,1 kg donde se obtuvo los datos que se presentan a continuación:



Balance de masa

$$\text{Entrada} = \text{Acumulacion} + \text{Salida}$$

$$A = W + B + C$$

$$130g = W + 87g + 39g$$

$$W = 4g$$

Balance de masa por componente

Bagazo de cebada

$$A(0,77) = W(0) + B(X) + C(X1)$$

$$100 = 87(X) + 39(X1)$$

$$X = X1$$

$$100 = 126(X)$$

$$X = 0,79$$

Agua

$$A(0,23) = W(1) + B(Y) + C(Y1)$$

$$30 = 4 + 87(Y) + 39(Y1)$$

$$26 = 87(Y) + 39(Y1)$$

$$Y = Y1$$

$$26 = 126Y$$

$$Y = 0,21$$

Rendimiento del equipo

$$\%R = \frac{S}{E} * 100\%$$

$$\%R = \frac{91}{130} * 100\%$$

$$\%R = 70\%$$

**Tabla 4-2:** Resultados balance de masa

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Porcentaje de bagazo de cebada de la briqueta	79%
Porcentaje de agua de la briqueta	21%
Rendimiento	70%

Realizado por: Rea, J.; Morillo, S., 2023

En consecuencia, con la tabla 4.2 el porcentaje de bagazo de cebada en la briqueta es del 79% es decir que ha aumentado en un 2% en comparación a la inicial, esto debido a que se compacta y se elimina agua en el proceso, por otro lado, el porcentaje de agua disminuye debido al calor generado en el proceso y por consiguiente esta se evapora al ambiente. Cabe añadir que la pérdida de agua es mínima por lo que no genera un gran impacto ambiental.

#### 4.4 Equipo final



**Ilustración 4-10:** Equipo entregado al laboratorio

Realizador por: Rea, J.; Morillo, S. 2023

## 5. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó una briquetadora de biomasa en base a cálculos de ingeniería para el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias, dicho equipo cumple con las características necesarias para brindar un rendimiento óptimo a escala laboratorio en la producción de briquetas a base de residuos agroindustriales con una capacidad de 3kg de alimentación.
- Se caracterizó tanto el bagazo de cebada como el bagazo de caña mediante análisis fisicoquímicos que otorgan resultados de densidad, humedad y porcentaje de ceniza en base a los resultados obtenidos de estas pruebas se dice que el bagazo de caña tiene menor densidad, menor porcentaje de cenizas y mayor humedad con respecto al bagazo de cebada.
- Se identificó las variables de proceso de manufactura de las briquetas, siendo las principales la presión, tiempo, temperatura y humedad. Con respecto al tiempo se dice que se demora 4 min desde la puesta en marcha en transportar 100 g de biomasa y compactarla, la presión ejercida es de 85 KPa y la temperatura que se alcanza en el equipo es de 40 °C, la humedad se la biomasa al ingreso del equipo es de vital importancia para que el recorrido dentro del tornillo sea continuo. Si se controlan estas variables se obtiene un producto de buena calidad.
- Se dimensionó el equipo propuesto mediante cálculos de ingeniería y revisión literaria de los siguientes libros; Diseño en Ingeniería Mecánica Shigley, Diseño de elementos de Máquinas de Mott, Transformación en plásticos Sagvarong y Manual de diseño de Martin, se aplicó distintos cálculos y conocimientos de ingeniería que están relacionados a las características fisicoquímicas de la biomasa a ser utilizada, balance de materia y selección de materiales que fueron de utilidad para obtener el dimensionamiento de los componentes más importantes de la maquina briquetadora que son el tornillo sin fin, motor, tolva y sistema de transmisión.
- Se construyó la máquina briquetadora mediante el diseño de la misma en el programa FUSION 360 debido a su fácil interfaz, los materiales principales de construcción fueron el acero inoxidable A304 y acero negro A36. Los elementos del equipo son; la tolva de alimentación, cuerpo de soporte, motor, bandeja de recolección, tornillo sin fin, carcaza, extrusor, sistema de transmisión con bandas y sistema On/Off. En cuanto a la automatización debido al costo e implementación se optó por dejar un sistema On/Off que a futuro pueda ser repotenciado.

- Se validó el funcionamiento del equipo para la elaboración de briquetas a base de diferentes tipos de biomasa haciendo una demostración de cómo ingresa la materia prima y el resultado final de la misma al pasar por el equipo.
- Se realizó la documentación respectiva con respecto al manejo adecuado de la briquetadora siendo así que se presentó un manual de funcionamiento y uno de mantenimiento, también se entregó los accesorios necesarios para su uso y mantenimiento, las guías de prácticas de laboratorio se elaboraron direccionadas a las materias de Cálculos Básicos I y Transferencia de Masa.

## **6. RECOMENDACIONES**

Se recomienda que antes de la puesta en marcha de la maquina briquetadora, se ofrezca una capacitación previa de las características, funcionamiento, elementos que contiene y los riesgos que se pueden proveer por un mal uso, además que permitirá un pensamiento lógico y cognitivo de la seguridad a nivel de laboratorio e industrial.

Es importante que después del uso de la maquina esta sea limpiada, ya que el trabajo al cual es sometido con diferentes biomasa puede mantenerse rezagos de esta y generar un deterioro de los elementos, la limpieza se la debe realizar mediante un cepillo de acero para que se obtenga un resultado ideal de la limpieza.

Se sugiere que el diámetro de los gránulos de la biomasa debe ser menor a 1 cm, debido a que el paso de tornillo, presión y extrusión fueron diseñados para esta medida y así se obtendrán mejor resultados y el motor no deberá realizar un mayor trabajo para obtener nuestro producto final.

## BIBLIOGRAFÍA

**A&D COMPANY.** *Balanza de humedad*. China, 2023. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/d-company-limited/product-54946-362059.html>

**ABURTO, Marco., & RODRÍGUEZ, David.** Caracterización de la resistencia de un material de banco para su uso como relleno compactado [En línea]. Universidad Autónoma de México, México. 2012. pp. 2–3. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/caracterizacion-de-la-resistencia-de-un-material-de-banco-para-su-uso-como-relleno-compactado-3521347?c=%7B>

**ALMACHE, Cristhian.** Rediseño, construcción y automatización de una máquina para la fabricación de briquetas a partir de biomasa [En línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2020. p. 15. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14309>

**ANALUISA, Darwin & HERNÁNDEZ, Edison.** Diseño y construcción de un modelo de máquina para la fabricación de briquetas a partir e residuos de café (borra), para estudio de su poder calorífico como posible sustituto del carbón vegetal. [En línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2018. pp. 16–17. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9206>

**CALERO, Felipe & VÁSCONEZ, Luis.** Desarrollo experimental de un aislante térmico utilizando cascarilla de arroz y aglutinantes naturales, en planchas rígidas. [En línea]. Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador. 2012. pp. 23–30. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://docplayer.es/77485378-Desarrollo-experimental-de-un-aislante-termico-utilizando-cascarilla-de-arroz-y-aglutinantes-naturales-en-planchas-rigiditas.html>

**CRUZ, Fabio & VARGAS, Johan.** Diseño de una máquina para la fabricación de briquetas de posos de café. [En línea]. Universidad de América. Colombia. 2020. p. 30. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7902/1/4141787-2020-1-IM.pdf>

**DIRECT INDUSTRY.** *Briquetadora de virutas - Hydrospeed - BP-Recyclingsystems GmbH - para residuos / automática*. China. 2023. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/bp-recyclingsystems-gmbh/product-191188-2276047.html>



**HOLDEN, Erling, LINNERUD, Kristin & RYGG, Bente.** "Renewable and Sustainable Energy Reviews". *ELSEVIER* [En línea], 2021, (Reino Unido) Vol. 144, pp. 8. [Consulta: 20 enero 2023].  
ISSN: 110955 Disponible en:  
<https://nmbu.brage.unit.no/nmbuxmlui/bitstream/handle/11250/2774792/Holden+et+al++A+review+of+dominant+sustainable+energy+narratives.pdf?sequence=2>

**INDIAMART.** *Biomass Pellet Making Machine.* India. 2023. [Consulta: 20 enero 2023].  
Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/biomass-pellet-making-machine-25390233130.html>

**INTEREMPRESAS.** *Prensas briqueteadoras Metso Minerals.* España. 2023. [Consulta: 20 enero 2023].  
Disponible en: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Prensas-briqueteadoras-Metso-Minerals-Plantas-Trituradoras-EtaBriq-119720.html>

**JURADO, Miguel.** Fraccionamiento del bagazo cervecero bajo el concepto de biorrefinería. [En línea]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (Ecuador). 2017. pp. 3–6 . [Consulta: 22 enero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14162>

**LU, Lory.** *Briquetadora de tornillo extrusor.* China. 2023. [Consulta: 22 enero 2023]. Disponible en: [https://es.made-in-china.com/co\\_zzagii/product\\_Automatic-Briquette-Extruder-Screw-Press-Biomass-Briquette-Press-Machine-Biofuel-Wood-Sawdust-Briquette-Machine\\_eyogyeyey.html](https://es.made-in-china.com/co_zzagii/product_Automatic-Briquette-Extruder-Screw-Press-Biomass-Briquette-Press-Machine-Biofuel-Wood-Sawdust-Briquette-Machine_eyogyeyey.html)

**MARCOS, Francisco.** *Pélets y briquetas.* [En línea]. 2da. Barcelona-España: Ediciones Mundi Prensa, 2012. [Consulta: 22 enero 2023]. Disponible en: [https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo\\_2293\\_9990.pdf](https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2293_9990.pdf)

**MARTÍNEZ, Manuel.** Densidad. [En línea]. Magdalena-Colombia: Editorial Unimagdalena, 2018. [Consulta: 22 enero 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/458880719/1585843249773-Matias-Martinez-Densidad-pdf>

**PERNALETE, Zoycris, PIÑA, Francibell, SUÁREZ, Madeleine, FERRER, Alexis & AIELLO, Cateryna,** "Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco". *Bioagro* [En línea], 2008, (Venezuela) Vol. 20, no. 1, pp. 3–4. [Consulta: 23 enero 2023]. ISSN 1316-3361. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/pdf/857/85720101.pdf>

**PIÑEROS, Carol & ACOSTA, Bryam.** Rediseño de una máquina extrusora para reciclaje de plástico producido en la Facultad Tecnológica de la UD. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Colombia. 2019. p. 50. [Consulta: 23 enero 2023]. Disponible en: <http://www.dosdoce.com/2017/10/01/audiolibros-en-espanol/>

**RIERA, María Antonieta, MALDONADO, Silvina & PALMA, Ricardo.** "AGRO-INDUSTRIAL RESIDUES GENERATED IN ECUADOR FOR THE ELABORATION OF BIOPLASTICS". *Ingeniería Industrial*. [En línea], 2018, ( Chile) Vol. 3, pp. 228. [Consulta: 23 enero 2023]. ISSN 0718-8307. Disponible en: <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/3924/3686>

**SALCEDO, David.** Elaboración de las Briquetas de carbón a partir de las hojas del árbol de teca. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. 2021. pp. 49–50. [Consulta: 24 enero 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22436>

**SEOANEZ, Mariano.** *Tratado de la biomasa: con especial incidencia sobre la biomasa como fuente energetica*. [En línea]. Madrid-España: McGraw-Hill, 2013. [Consulta: 24 enero 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/50209>

**SERVIACERO ESPECIALES.** *Hoja técnica AISI 304*. México , 2020. [Consulta: 24 enero 2023]. Disponible en: <https://www.serviacero.com/especiales>

**SHARMA, Manoj Kumar, PRIYANK, Gohil & SHARMA, Nikita.** "Biomass briquette production: A propagation of non-convention technology and future of pollution free thermal energy sources". *American Journal of Engineering Research (AJER)* [En línea]. 2015. (India) Vol. 04, no. 02, pp. 44. [Consulta: 24 enero 2023]. ISSN 2320-0847 Disponible en: [https://www.ajer.org/papers/v4\(02\)/F042044050.pdf](https://www.ajer.org/papers/v4(02)/F042044050.pdf)

**SHUMA, Reuben & MADYIRA, Daniel.** "Production of Loose Biomass Briquettes from Agricultural and Forestry Residues. Procedia Manufacturing". *ELSEVIER* [En línea]. 2017. (Alemania) Vol. 7, pp. 99. [Consulta: 24 enero 2023]. ISSN 2351-9789. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978916301895>

**SILVA, César.** Diseño y cálculo de una máquina para producir briquetas a partir de cascarilla de

arroz. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Loja, Ecuador. 2015. pp. 2–3. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11838>

**SOLÓRZANO, Heide & TORAL, Daniella.** Diseño, construcción y monitoreo de extrusora de filamento con cámara reguladora de humedad usando LABVIEW. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. 2022. p. 19. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22835?mode=full>

**TAMASHIRO, Sebastián.** *Usan residuos cerveceros como insumos productivos.* Argentina: Sobre La Tierra, 2021. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <http://sobrelatierra.agro.uba.ar/usan-residuos-cerveceros-como-insumos-productivos/>

**THAMIZHPPARITHI, Mari.** Bagazo de la caña de azúcar para producir papel reciclado. Argentina: *Residuos Profesional*, 2017. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://www.residuosprofesional.com/bagazo-cana-azucar-papel-reciclado/>

**VENEGAS, Ignacio.** Diseño y selección de componentes de una máquina briquetadora de mediana capacidad. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. 2017. p. 13. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23023/3560900231939UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**ZHAO, Funncy.** *Máquina de fabricación de briquetas de carbón Industrial/polvo de carbón briquetadora.* China. 2023. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: [https://es.made-in-china.com/co\\_zzleabon/product\\_Industrial-Coal-Briquette-Making-Machine-Charcoal-Powder-Briquette-Machine\\_eirrgsnuy.html](https://es.made-in-china.com/co_zzleabon/product_Industrial-Coal-Briquette-Making-Machine-Charcoal-Powder-Briquette-Machine_eirrgsnuy.html)





**epoch**

**Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 10 / 08 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Sharon Daniela Morillo Morán Johnny Alberto Rea Chávez
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1484-DBRA-UPT-2023

